第 40 卷 增刊　　　　昆 虫 学 报　　　　Vol. 40, Suppl.
1997 年 11 月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Nov., 1997

褐飞虱的交配行为及与保幼激素滴度的关系*

戴华国　吴小毅　冯从经　杨亦桦
（南京农业大学植物保护系　南京　210095）

摘要　受 5 龄末期和羽化初期较高保幼激素滴度的影响，褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 短翅型成虫性成熟比长翅型成虫早 40～50 h。5 日龄前短翅型雌成虫的交配成功率较高，雄成虫的交配竞争能力较强；1、2 日龄的长翅型雌成虫不交配，5 日龄后长翅型成虫的交配能力渐渐超过短翅型成虫。实验种群的交配持续时间为（70.38±41.77）s；交配成功率为 51.63%；雌、雄虫均可重复交配。一日中 0～4 h 和 10～14 h 交配成功率较高。

关键词　褐飞虱，交配行为，保幼激素滴度

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 的交配行为，朱绍先（1984）、张志涛（1991）等曾作过报道[1~3]；Novotny（1995）还就褐飞虱长翅型和短翅型雄虫在交配过程中的竞争作用进行过研究报道[4]。但由于研究的侧重点有异，加之褐飞虱的交尾时间短暂，观察较困难，故不少问题尚未涉及。Novotny（1995）虽然揭示了长、短翅型雄虫随着发育日龄，在交配过程中的竞争能力有所变化，但未曾对其调控因素进行深入研究。为此，笔者在对褐飞虱成虫的交配行为、交配的有效日龄、交配过程中的竞争作用进行较为深入观察研究的基础上，对交配行为与保幼激素（juvenile hormone，JH）的关系进行了探讨。

1　材料和方法

1.1　实验材料

供试水稻品种：汕优 63(分蘖拔节期)。

供试昆虫：虫源来自江苏省农科院植保所，网室饲养，自然繁殖。

1.2　实验方法

1.2.1　供试昆虫的室内饲养：将分蘖、拔节期的水稻苗剪去大部分须根和茎叶，插入直径 3cm、高 20cm 的玻璃试管中，每管一株水稻，并加入少许木村营养液进行水培。每管接入少量高龄若虫后用纱布、橡皮圈封口。在（28±1)℃、16L∶8D 的条件下饲养。饲养过程中根据情况适时更换新鲜稻株及营养液。每隔 12 h 检查一次羽化情况，一旦成虫羽化，立即吸出，将长翅型雌、雄成虫（M♀、M♂）和短翅型雌、雄虫（B♀、B♂）

* 国家攀登计划和国家自然科学基金项目
1997-04-22 收稿，1997-07-07 收修改稿

分别单头饲养于试管中，并记录羽化时间备用。

1.2.2 交配行为的观察研究：将羽化后1～7日龄的长、短翅型雌、雄虫进行配对，放入内放一株分蘖拔节期稻株的直径3cm、高20cm的玻璃试管中进行观察研究，一般每管内放入1头雌虫、2头雄虫。记录交配的成功率、交配行为、交配时间、有无重复交配现象，长、短翅型个体间的竞争作用等。每次观察以1h为限。观察到交配的雌虫，交配完毕后立即解剖，根据交配囊中精包的有无和精包的个数来加以验证。共计观察190对。

1.2.3 交配日节律的观察研究：将分蘖拔节期的水稻栽于直径8cm、高约7cm的装有稻田泥的塑料盆钵内，每钵栽水稻1～2株，上罩口径6cm、高30cm的透明纱网，顶部盖一海绵塞。盆钵放入盛水的塑料浅盘中，置于(28±1)℃，16L：8D的室内。一日24h中，每隔2h将1对最佳交配日龄的雌、雄成虫放入网罩盆钵中，每次10个重复处理，观察其交配情况，2h后吸出成虫，解剖雌成虫，记录交配结果(交配成功率，重复交配次数等)，以探讨其交配的日节律。实际重复3次，实验种群423对。

1.2.4 成虫体内保幼激素的测定：HPLC测定褐飞虱体内的保幼激素滴度，参照云自厚等(1992)的方法[5]；放射化学法(RC法)测定其体内保幼激素酯酶(JHE)活性的变化，采用改进的Bruce & Thomas (1977)的方法[6]。通过对褐飞虱1～5日龄长、短翅型雌、雄成虫体内保幼激素滴度(JH titer)的测定，探讨成虫期保幼激素滴度变化与交配行为的关系。

2 结果与分析

2.1 交配行为与交配持续时间

雌、雄成虫配对后，雌虫一般在稻株的中下部静止不动，雄虫则在稻株的中上部活泼运动(B♂迅速爬行，M♂则边振翅边爬行)。稍后雌虫持续地振动腹部，引诱雄虫；雄虫则从雌虫后部渐渐接近，并在较短距离时迅速接近雌虫。靠近后雄虫用前足轻轻敲打雌虫腹部，或用触角、前翅翅缘碰触雌虫腹部。雌虫每被雄虫触及一次，其产卵瓣就向下摆动一次，而后又迅速复位。经与雄虫一段时间的接触后，雌虫往往上下振动腹部或振动双翅加以响应，有时会稍微移动一段距离。如果雌虫拒绝交配，则会迅速地离开雄虫，或每当被触及时，就强烈地左右振动腹部和双翅，甚至还用后足驱赶雄虫；也有极少数雌虫对雄虫的挑逗性接触毫无反应。雌、雄虫间通常要多次试交，不断变换位置，最后才能交配成功，观察中曾发现一头B♂与1头B♀试交8次才成功。一般雄虫在多次试交失败后会悄然离开。

交配初期，雌虫多数静止不动，雄虫则张开双翅，变曲其腹部并迅速将交配器插入雌虫腹部之下。交配中，一般雌虫在上，雄虫处于侧下位，两虫呈现135°左右的钝角。有时雄虫会侧身交配，此时雌虫双翅静止或双翅略为抬高，微微张开，雄虫则呈八字形张开双翅，斜向上或垂直向上，并保持至交配结束。整个交配过程中，雌虫很少活动，雄虫则较活跃，有时会高高翘起尾部，将雌虫顶起。交配行将结束时，雌虫用后足竭力推动稻株，试图分开，并不停地爬动，将雄虫拖行一段距离后两者分开。有时雌虫会爬至雄虫背部，挣扎以图分开。极少数情况下，雄虫会主动结束交配。交配结束后，大部分

雌、雄虫反方向移动 1～2 cm 左右，静止一段时间后再活动。

交配后的雌虫，静伏于稻株上，当其它雄虫试图与之交配时，则表现出强烈的拒绝反应，2 h 内多数雌虫不会再行交配（仅观察到一例，雌虫在 2 h 内重复交配 3 次，每次间隔约 10 min，解剖后观察到 2 个精包）。而雄虫交配后仅静止很短时间就到处活动。观察中发现雄虫可多次交配，最多可达 8 次；雌虫则较少重复交配，最多可达两次，但交配后 2 h 内，无论是 M♂ 还是 B♂，很少有再次交配行为。

190 对褐飞虱交配时间的统计结果表明，实验种群的交配持续时间为（70.38±41.77）s，最长持续时间为 146 s，最短为 30 s。不同翅型间无明显差异。

2.2　交配成功率与交配过程中的竞争作用

在室内用试管人为配对试验中，共配 368 对不同日龄的雌、雄成虫，其中 190 对观察到交配行为，交配成功率为 51.63%。

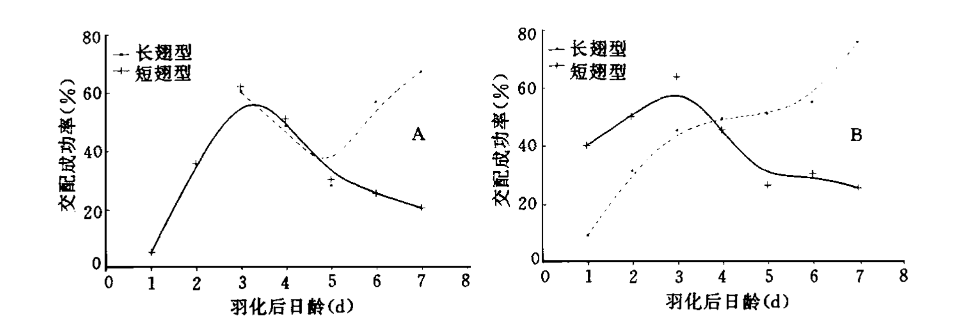


图 1　褐飞虱成虫的交配成功率与日龄的关系

A：雌虫；B：雄虫

交配的成功率与成虫的日龄有很大的关系（图 1）。褐飞虱成虫寿命多数在 7～9 d。图 1A 结果表明：就雌成虫而言，短翅型 1 日龄即可交配，但 1 日龄的交配成功率较低，仅为 5.0%；2 日龄后交配成功率渐高，至 7 日龄均可交配，其中以 3 日龄的交配成功率最高，达 61.9%，以后渐降。长翅型 1、2 日龄基本不交配，3 日龄后才进行交配，4～7 日龄交配成功率均维持较高水平，并于 5 日龄后交配成功率超过短翅型。而对于雄成虫来说（图 1B），短翅型 1 日龄即可交配，2 日龄后交配成功率渐高，3 日龄交配成功率最高，达 63.5%，以后渐低。长翅型则 3 日龄前交配成功率较低，3 日龄后渐高，并逐渐增高，6、7 日龄甚至超过短翅型。

观察时发现交配过程中雄虫间有竞争作用。翅型相同的雄虫间虽有竞争，但不很强烈。当两头雄虫位于同一雌虫附近时，离雌虫较远的雄虫会用前足敲打另一头离雌虫较近的雄虫的腹部，而前面的雄虫则用后足踢打身后的雄虫，如果一头雄虫已先行接近雌虫，另一头雄虫仅在其四周活动，而不再与其接触或接近。长、短翅型雄虫个体间的竞争作用表现强烈，一般一头雄虫要将另一头竞争者赶跑后才与雌虫进行交配。其中 5 日龄前短翅型雄虫处于优势，而在 5 日龄后则长翅型雄虫渐占上风。

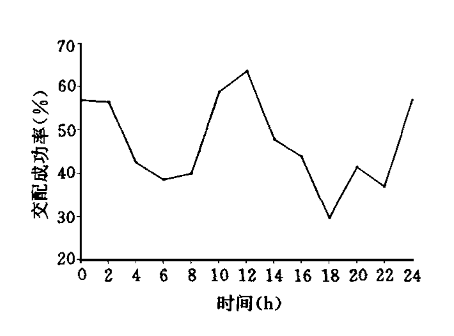


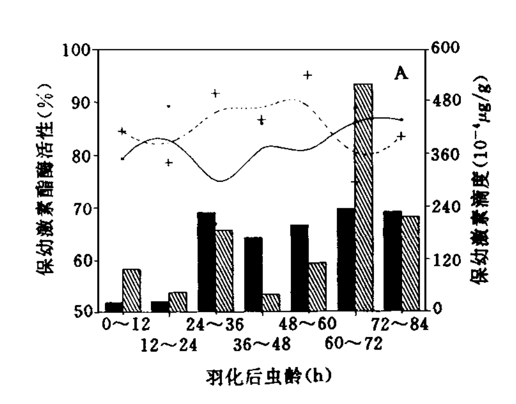
图2 褐飞虱成虫的交配日节律

2.3 交配的日节律

进行实验的423对褐飞虱中，198对进行了交配，因此得知1日中每2h的交配成功率（图2）。由图2可以看出，1日24h中褐飞虱均可进行交配，其中0～4h和10～14h交配成功率较高，分别达56.76%和63.64%。

2.4 保幼激素滴度与交配的关系

用HPLC测定长、短翅型雌、雄成虫JH滴度和RC法测定JHE活力的结果见图3。鉴于JHE对JH的代谢作用，JHE的活力与JH滴度呈负相关关系。JH促进昆虫性成熟的作用已有不少报道[7,8]，图3结果证实了这一点。对雌虫而言，短翅型个体在5龄若虫末期即出现JH滴度高峰，羽化后24h体内JH滴度高于长翅型，故短翅型性成熟早于长翅型。60～72h短翅型JH滴度达最高值，故3日龄短翅型雌成虫交配成功率最高。24h前长翅型体内JH滴度很低，以后渐高，导致其交配有效日龄约迟于短翅型40～50h。72～84h后短翅型JHE活性高于长翅型，致使5日龄后长翅型的交配成功率高于短翅型。而对雄虫而言，长、短翅型个体JHE活力在成虫羽化初期较接近，24h后短翅型个体的JHE活力即降低，JH滴度上升，这种情况一直延续至48～72h，故短翅型雄虫在3、4日龄交配成功率较高。长翅型则于60h后JHE活力才有所下降，故其最佳交配日龄迟于短翅型个体，交配中竞争能力也较差；84h后其JHE活力低于短翅型，故后期其交配竞争能力渐强，至5日龄后其交配竞争能力则强于短翅型个体。



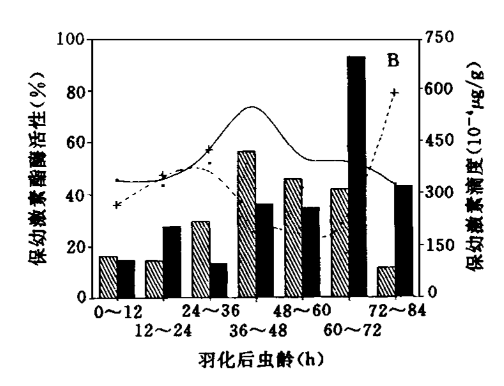


图3 褐飞虱成虫保幼激素滴度及保幼激素酯酶活性的变化动态

A：雌虫；B：雄虫；---短翅型JHE活性；——长翅型JHE活性；▧短翅型JH滴度；■长翅型JH滴度

3 讨论

在室内用试管人为配对试验，对生活力较强的成虫，特别是长翅型成虫的活动会有

一定抑制作用，故对观察结果和配对成功率会产生一定影响。

褐飞虱体内 JH 滴度，采用 HPLC 直接测定以及用 RC 法测定 JHE 活性来表示。两种方法相比，JHE 活性测定的结果较为准确，故主要依据 JHE 的活性变化来进行结果分析。

交配行为观察中，交配持续时间为（70.38±41.77）s，与以往报道的（92.6±19.5）s[3]略有出入，这可能与观察方法有关。朱绍先（1984）报道每头雌虫一生可交配 1～4 次；1 头雄虫 24 h 内最多可与 9 头雌虫交配[1]，与我们的观察结果相近。但鉴于雄虫交配囊中的精包在 2 h 内极易解体，而雌、雄成虫在 2 h 内又极少再次交配，故其重复交配的次数，特别是雌虫再次交配的次数有进一步研究的必要。

岩永京子（1985、1986）曾报道褐飞虱长翅型雌虫的卵巢发育要比短翅型迟 30 h 左右，并认为这是由其内分泌系统，特别是 JH 滴度决定的[7,8]。Novotny（1995）报道褐飞虱羽化 12～24 时虫龄的短翅型雄虫与雌虫的交配成功率是长翅型的 3 倍；而 5 日龄长翅型雄虫与雌虫的交配成功率则为短翅型的 2 倍。并推测长翅型雄虫性行为高峰的延迟是受体内 JH 滴度的影响[4]。本实验的结果证实了这些结论并提供了直接的论据。但雌虫性成熟与交配的关系，特别是 JH 对雄成虫性成熟的影响及其对雄虫交配和竞争能力的作用，尚待更深入的研究。

褐飞虱日交配节律受生殖系统的发育程度影响，为得到较为正确的结果，有必要结合其求偶鸣声研究[2,3]和保幼激素的测定进行深入探讨。

迁飞是昆虫的一种生态对策。褐飞虱短翅型成虫作为居留型，其作用主要是进行繁殖以扩大种群的数量；其较短的发育历期和较早的性成熟是一种适应性表现。长翅型作为迁飞型，要根据环境条件进行交配繁殖，其发育和性成熟的延迟也是一种生存对策。不同翅型、不同日龄褐飞虱的最佳交配日龄和交配成功率的差异，是其整个种群在长期的物种进化过程中所形成的一种特殊生态对策的具体表现。

致谢　南京农业大学植保系 97 级毕业生李平参加部分工作。

参 考 文 献

1　朱绍先，邬楚中，杜景祐编. 稻褐飞虱及其防治. 上海：上海科学技术出版社，1984，33～35

2　张志涛，Saxena R C，Boncodin M E M. 印楝油对褐稻虱雌虫求偶鸣声和交尾行为的影响. 昆虫学报，1991，**34**（1）：1～6

3　张志涛，殷柏涛，除伦裕等. 褐稻虱求偶鸣声和交尾行为. 昆虫学报，1991，**34**（3）：257～265

4　V. Novotny. Adaptive significance of wing dimorphism in males of *Nilaparvata lugens*. Entomolgia Experimentalis *et* Applicata，1995，**76**：233～239

5　云自厚，杨轶帆，姜在阶等. 用 HPLC 测定长角血蜱中的保幼激素，北京师范大学学报，1992，**28**（2）：200～203

6　Bruce D H，Thomas C S. A rapid assay for insect juvenile hormone esterase activity. Juvenile Hormone Esterase Assay. New York：Academic Press，Inc.，1977，573～579

7　岩永京子，藤条纯夫，トヒイロウンカにおける翅型の内分泌制御. 九州病虫研会报，1985，（31）：84～88

8　Iwanaga K，Tojo S. Effects of juvenile hormone and rearing density on wing dimorphism and oocyte development

in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. J. Insect Physiol., 1986, **32** (6): 585~590

THE RELATIONSHIP BETWEEN MATING BEHAVIOR AND TITER OF JUVENILE HORMONE IN BROWN PLANTHOPPER, *NILAPARVATA LUGENS* (STÅL)

Dai Huaguo Wu Xiaoyi Feng Congjing Yang Yihua

(*Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University Nanjing* 210095)

Abstract Affected by a higher titer of juvenile hormone at the end of 5th nymphal instar and early stage after emmergence *in vivo*, the sexual maturation period of brachypterous adults of the brown planthopper was 40~50 hours earlier than that of macropterous adults. The percentage of successful mating of brachypterous females was higher and the mating ability of males was relatively stronger before 5-day age. Macropterous female adults did not mate at 1st. and 2nd. day after emmergence. The mating ability of macropterous adults could surpass that of brachypterous adults gradually, the mating course of the experimental population lasted (70.38±41.77) s, and the percentage of successful mating was 51.63%. Both males and females could mate repeatly, and the percentage of successful mating was relatively higher during 0~4 o'clock and 10~14 o'clock in a day.

Key words *Nilaparvata lugens*, mating behavior, JH titer